На правах рукописи

Очур-оол Алдынай Олеговна

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛАНДШАФТОВ ХЕМЧИКСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЗАПАДНАЯ ТЫВА)

25.00.23 – Физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Томск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тувинский государственный университет» на кафедре биологии и экологии и в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» в лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды (BIO-GEO-CLIM)

Научные руководители: доктор биологических наук
Ондар Сергей Октяевич

доктор биологических наук, доцент
Кирпотин Сергей Николаевич

Официальные оппоненты:

Московченко Дмитрий Валерьевич, доктор географических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем освоения Севера Сибирского отделения Российской академии наук, сектор геоэкологии, заведующий сектором

Пузанов Александр Васильевич, доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, ВрИО директора

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Защита состоится 19 апреля 2017 года в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.15, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (Главный корпус, аудитория 119).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: http://www.ams.tsu.ru/TSU/QualificationDep/co-searchers.nsf/newpublicationn/Ochur-oolAO19042017.html

Автореферат разослан «___» марта 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат географических наук, доцент Квасникова Зоя Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Актуальность ландшафтно-экологических исследований связана с поиском эффективных методов интегральной оценки ситуации с учетом специфики отдельного региона в целях рационального природопользования. Особенно важно выполнение подобных исследований в регионах с перспективным горнопромышленным освоением для планирования системы мероприятий рационального природопользования.

Одним из таких регионов является Республика Тыва[1] (далее РТ), принадлежащая в геологическом отношении к Центрально-Азиатскому складчатому поясу с уникальной минерагенической специализацией (Лебедев, 2009). Территория Хемчикской котловины является районом с благоприятным территориальным сочетанием различных полезных ископаемых, включенных Стратегией социально-экономического развития РТ до 2020 г. для освоения минерально-сырьевой базы (Постановление …, 2008). Эколого-геохимические условия Хемчикской котловины слабо изучены и для нее практически отсутствуют сведения о влиянии локальных техногенных факторов. Зона исследований выбрана как территория, имеющая промышленный потенциал, а также ландшафты естественного и локально-техногенного характера, на которых систематический мониторинг не проводится. Кроме того, необходимость оценки фонового состояния и инвентаризации обусловлена особой экологической ценностью территории котловины, являющейся участком с уникальными объектами мирового природного наследия и переходными образованиями от северной тайги к аридным степям с высоким биологическим и ландшафтным разнообразием. В связи с этим возрастает роль эколого-геохимических исследований с целью прогноза степени техногенной трансформации и определения путей снижения эмиссии экотоксикантов в окружающую среду.

Объект исследования: природные и техногенно-преобразованные ландшафты Хемчикской котловины (западная Тыва).

Предмет исследования: распределение химических элементов (тяжелых металлов) в компонентах ландшафтов исследуемого района и их эколого-геохимическая оценка.

Цель: оценка современного эколого-геохимического состояния ландшафтов Хемчикской котловины.

Задачи: проанализировать природно-ландшафтные условия территории, определяющие ее эколого-геохимическое состояние; установить региональное фоновое содержание тяжелых металлов в почвах природных ландшафтов территории; выявить закономерности пространственного распределения химических элементов в почвах, растительном покрове и поверхностных водах естественных и техногенно-трансформированных ландшафтов в системе высотной поясности; установить геохимическую специализацию почвенного и

[1] Неоднозначность географического названия «Тува» может вызвать некоторые вопросы, поэтому в официальных названиях нами употреблялось название «Республика Тыва», а в остальных случаях «Тува», которая допускается Конституцией Республики Тыва (Конституция …, 2001)

растительного покровов ландшафтов котловины; оценить эколого-геохимическое состояние ландшафтов котловины и составить ландшафтно-геохимические карты.

Теоретическая и методологическая основа работы базируется на идеях и трудах в области географии почв, геохимии ландшафтов и экогеохимии А.П. Виноградова, А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, Б.Б. Полынова, Н.С. Касимова, В.В. Добровольского, В.Б. Ильина, Ю.Е. Саета, Б.А Ревича и др. Материалом для сравнительно-географического анализа послужили результаты ландшафтно-геохимических исследований Западной Сибири А.И. Сысо, М.А Мальгина и др., юга Средней Сибири – Ю.Г. Покатилова, юга Восточной Сибири – В.А. Кузьмина, Алтае-Саянской горной области – С.С. Курбатской, А.В. Пузанова.

При изучении эколого-геохимического состояния ландшафтов котловины использовались следующие **методы**: сравнительно-географический; химико-аналитический; статистический; математический; ГИС-технологий. Материалы исследования были получены с использованием общепринятых методов полевых ландшафтно-геохимических исследований.

Научная новизна:

1. Определены региональные фоновые уровни ряда тяжелых металлов в почвах.
2. Установлены закономерности пространственного распределения исследуемых химических элементов в компонентах ландшафтов.
3. Дана региональная геохимическая специализация основных депонирующих сред (почв и растительности) ландшафтов котловины.
4. Проведена интегральная эколого-геохимическая оценка ландшафтов Хемчикской котловины.
5. Построены эколого-геохимические территории.

Положения, выносимые на защиту:

1. Распределение химических элементов и особенности геохимической специализации компонентов ландшафтов котловины определяются свойствами литогенной основы, их гипсометрической приуроченностью в системе высотной поясности, структурой флористических комплексов, а также степенью техногенного воздействия.
2. Эколого-геохимическая обстановка природных и антропогенно-преобразованных ландшафтов котловины характеризуется неопасным и умеренно-опасным уровнем загрязнения почв и слабой степенью биогеохимической трансформации растительных сообществ.
3. Картографические модели суммарной загрязненности почв и степени биогеохимической трансформации растительных сообществ являются эффективным методом оценки эколого-геохимического состояния ландшафтов.

Фактический материал и личный вклад соискателя. Постановка задач, полевые исследования, сбор и обобщение полученных материалов проводились при непосредственном участии автора. Лично автором выполнены: обработка, интерпретация данных, построение карт (ландшафтной структуры, суммарной

загрязненности почв, степени биогеохимической трансформации растительных сообществ и др.), обоснование выводов.

В работе использованы результаты полевых экспедиционных работ за период 2006, 2008, 2009 и 2013 гг. с опробованием почв (284 проб), растительного покрова (244) и поверхностных вод (56) на 11 ключевых участках, отражающих различные ландшафтно-геохимические условия котловины.

Материалы, послужившие основой диссертации, получены в рамках гранта по Постановлению Правительства РФ № 220 от 09.04.2010 г. по договору с Минобрнауки РФ № 14.B25.31.0001 от 24.06.2013 г. (BIO-GEO-CLIM). Основной объем данных получен в ходе выполнения НИР по Заданию Минобрнауки РФ ТувГУ на выполнение государственных работ в рамках базовой части государственного задания в 2008-2015 гг.

Практическая значимость. Работа содержит фактические данные регионального ландшафтно-геохимического фона, с которыми можно сравнивать трансформацию химического состава основных депонирующих сред при перспективном горнопромышленном освоении не только на локальных территориях, но и в целом по республике. Материалы использовались в научных отчетах по проектам и включены в ряд учебных курсов кафедры биологии и экологии ТувГУ. Полученные результаты могут использоваться профилирующими учреждениями РТ при принятии решений и организации управления в области рационального природопользования.

Апробация результатов, и публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ в научных журналах и сборниках конференций, из них 8 статей в журналах из перечня ВАК. Основные результаты докладывались и обсуждались на четырех Международных и на двух Всероссийских научно-практических конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы (230 наименований), 37 рисунков, 13 таблиц, 3 приложений, с общим объемом 175 страниц.

Благодарности. Автор глубоко благодарен своим научным руководителям: профессору ТувГУ, д-ру биол. наук С.О. Ондару и профессору НИУ ТГУ, д-ру биол. наук С.Н. Кирпотину за постоянную поддержку и помощь при написании диссертации. Особую признательность автор выражает ректору, профессору ТувГУ, д-ру филос. наук О.М. Хомушку за всестороннюю поддержку; проректору по научной работе, доценту ТувГУ, канд. хим. наук У.В. Ондар за плодотворные совместные работы по теме диссертации и неоценимую помощь в освоении материалов; профессору НИУ ТГУ, д-ра геогр. наук Н.С. Евсеевой и доценту НИУ ТГУ, канд. геогр. наук З.Н. Квасниковой за конструктивные указания, помощь в работе и предоставленные материалы; сотруднику лаборатории BIO-GEO-CLIM НИУ ТГУ, канд. биол. наук Р.М. Манасыпову за ценные советы, а также коллективу Отдела организации научных исследований ТувГУ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 «Теоретические аспекты и методы эколого-геохимических исследований ландшафтов» содержит два раздела. В первом, на основе анализа литературных источников, подробно рассмотрены основные теоретические аспекты изучения экогеохимии ландшафтов. Во втором разделе приводится характеристика методики исследований. В основу выделения границ котловины взят ландшафтный принцип, в соответствии с которым она рассматривается как совокупность днища с обрамляющими ее горными хребтами. При выборе расположения ключевых участков учитывались наиболее типичное соответствие структуре изучаемой ландшафтно-геохимической системы и степень подверженности территории влиянию техногенного фактора. Точки отбора проб сгруппированы на четыре типа геохимических ландшафтов, дифференцированных под действием контрастных природных условий, сложнейшей геологии, обусловивших разнообразие почвенного и пестроту растительного покровов. За основу выделения групп ландшафтов было использовано биогеохимическое районирование Тувинской горной области, предложенное А.В. Пузановым (2005) (рис. 1).

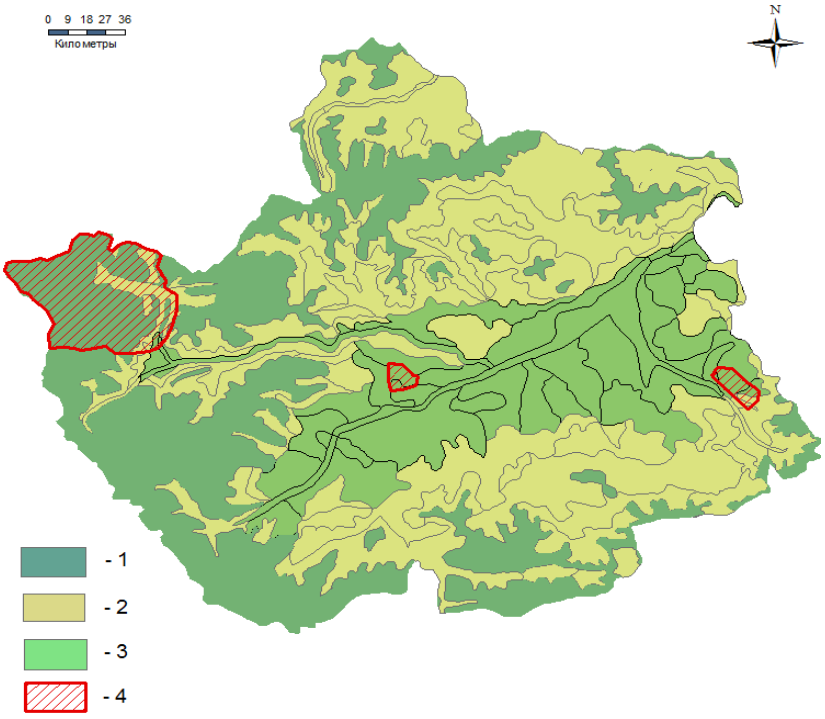

Рисунок 1 – Геохимические ландшафты Хемчикской котловины:
1 –высокогорные,
2 –среднегорные,
3 –степные межгорно-котловинные,
4 – техногенно-трансформированные

1. Высокогорные ландшафты представлены скалисто-осыпными высокогорьями с маломощным суглинисто-щебнистым покровом с альпийскими и субальпийскими лугами и кустарниками, участками тундр и редколесья на горно-луговых и лугово-каштановых почвах. Степи высокогорий в основном представлены криофитно-злаковыми ассоциациями, разнотравными лугами на горно-тундровых и горностепных почвах с каменистыми россыпями. Лесные участки представлены редколесьями из кедра, лиственницы и субальпийскими высокотравными лугами, кустарниками на горно-луговых почвах и участками тундр на торфянисто-перегнойных почвах.

2. Среднегорные ландшафты распространены на горно-каштановых и горнолесных почвах под доминированием хвойно- и смешанных лесов, а также представлены лиственничными лесами на горно-луговых в сочетании с сухими степными ассоциациями на горно-каштановых почвах. Более крутые склоны покрыты типичной каменистой степью.

3. Межгорно-котловинные ландшафты представлены степями, в основном с сухой мелкодерновинной полынно-злаковой растительностью, а в условиях лучшего увлажнения развиваются разнотравно-ковыльно-злаковые луговые сообщества на разнообразных каштановых почвах. В долинах рек распространены лесостепные участки с сочетанием мелколиственных лесов на аллювиальных почвах.

4. Техногенные ландшафты выделены в зоне влияния антропогенных воздействий: район падения отделяющихся частей ракетоносителей «Протон» (далее РКД), окрестности горно-обогатительного комбината «Туваасбест» и Чаданского угольного разреза. В структуре растительного покрова степных техногенных ландшафтов важно отметить присутствие рудеральной и галофитной флоры.

Во всех образцах определялись содержания валовых и подвижных форм химических элементов методами атомно-адсорбционной и атомно-эмиссионной спектрометрии в агрохимической лаборатории «Тувинская», в ЦКП СФУ и в НОЦ КП ТувГУ (аттестат аккредитации № ААС.А.00162). В почвах дополнительно определялись основные физико-химические свойства. Статистическая обработка проведена в программе Microsoft Excel и включала расчет средних, стандартных отклонений, коэффициентов вариаций (*Cv*, %) содержания элементов в компонентах выделенных геохимических ландшафтов.

Для обработки результатов использовались следующие показатели: геохимические характеристики почв и растительных сообществ отражались формулой, в числителе которой даются элементы-концентраторы с их коэффициентами концентрации (Кк), в знаменателе – деконцентрирующиеся с коэффициентами рассеяния (Кр); интенсивность вовлечения химических элементов в биогенную миграцию рассчитали с помощью коэффициента биологического поглощения (Кб); для характеристики общих закономерностей концентрирования группы элементов рассчитывали коэффициенты накопления (*Rk*); показатели интенсивности антропогенного воздействия определялись путем расчета коэффициентов концентрации ($Кк_т$) и рассеяния ($Кр_т$) для почв, растений, воды в них и выражались следующими формулами: $Кк_т$ = Ст/Сф и $Кр_т$ = Сф/Ст, где Сф – средние содержания элемента в фоновых образцах, а Ст – в объектах, подвергающихся техногенному влиянию. Полиэлементную нагрузку отражает суммарный показатель загрязнения (*Zc*): $Zc = \sum_1^n Кк - (n1)$, где n – количество тяжелых металлов с Кк>1,5. При санитарно-гигиенической оценке почв использовались ПДК (ГН 2.1.7.2042-06).

Изменения в элементном составе растений показывает коэффициент биогеохимической трансформации Z*v* (Касимов и др., 2011), рассчитанный по формуле: $Zv = \sum_1^{n1} Кк + \sum_1^{n2} Кр - (n1 + n2 - 1)$, где $n1$, $n2$ – количество химических элементов с Кк > 1,5 и с Кр > 1,5 соответственно.

Эколого-геохимическое картографирование произведено в пакете ArcGIS 9.3.1. методом обратно взвешенных расстояний по результатам КХА.

В главе 2 «Природные условия Хемчикской котловины» приводится характеристика рельефа и геологического строения, особенности климата, почв, растительности, рассмотрены основные типы ландшафтов.

Глава 3 «Геохимическое состояние ландшафтов Хемчикской котловины» содержит пять разделов, в которых рассмотрены закономерности распределения химических элементов в почвах, растительности и поверхностных водах, а также описана геохимическая специализация ландшафтов котловины. Фоновая геохимическая дифференциация почв характеризуется повышенным, относительно кларка, содержанием Pb и Cd, пониженное установлено для Cu, Mn, Co, Zn и Ni. Сопоставление геохимического фона с сопредельными регионами показало близкие уровни содержания Cu, Mn и Pb, незначительно пониженные значения установлены для Co, Zn и Ni (табл. 1).

Таблица 1 – Среднее содержание тяжелых металлов в почвах разных провинций Сибири

Биогеохимические провинции	Cu	Mn	Co	Zn	Pb	Ni
	мг/кг					
Хемчикская котловина	33,6	882,3	5,9	63,1	23,7	36,4
Саяно-Шушенская*	29,1	1046	12,5	74,4	24,7	39,1
Хакасская*	39,8	575	15,7	76,3	18,9	37,7
Кларки в почвах**	47	1000	18	83	16	58

*****-по данным Ю.Г. Покатилова (1993, 1992)
******-по данным А.П. Виноградова (1962)

Анализ пространственного распределения элементов в почвах показал, что поверхностные горизонты имеют нейтральную реакцию (pH 7,3), среднее содержание органического вещества 5,2%. Содержание как валовой, так и доступной формы Mn выше в лугово-каштановых и горно-луговых черноземовидных почвах, ниже – в сухостепных, что объясняется ролью гумуса. Техногенное накопление установлено для Zn, Cu, Co, Pb, Ni, Cr и V, при этом, в целом, они характеризуются околокларковыми значениями, за исключением Co, содержание которого ниже кларка. Концентрации Cd превышают его среднемировые значения почти в 3 раза, хотя согласно ГН 2.1.7.2042-06 изучаемые почвы не загрязнены данным поллютантом. As характеризуется довольно однородным распределением и околокларковым содержанием, техногенного накопления не отмечено, за исключением зоны влияния РКД, где ПДК превышено в 2,4 раза. Концентрации I значительно ниже среднемировых значений, что стало причиной высокого уровня заболеваемости населения эндемическим зобом (Ондар, 2000; Куулар, 2003). В распределении Sr выявлена закономерность – деконцентрация в высокогорных и накопление в подчиненных межгорно-котловинных ландшафтах, но в целом обнаружен низкий уровень по отношению к его кларку. Количество B не превышает (0,70 ± 0,07) мг/кг почвы при кларке 12 мг/кг. Распределение его в пространстве более монотонно, *Cv* = 0,5%. В распределении валовых форм макроэлементов (K, Ca, P и Fe) установлена выраженная мозаичность и пониженные, относительно кларка, содержания.

Для растительных сообществ котловины установлено неодинаковое общее содержание изученных элементов. Содержание Cu не превышает их

нормального содержания в растительности по Melsted (1973 из Baker, Chesnin, 1975). Повышенное содержание Cu наблюдается в высокогорных фитоценозах, пониженное – в среднегорных. Нами установлен дефицит жизненно важных элементов (Mn и Zn), которые в 5 и 3 раза меньше их среднего содержания в растениях по Ильину (1991) соответственно. Усредненный показатель содержания Cd не превышает его нормального значения по Melsted, что показывает экологическую чистоту фитокомплексов по отношению к Cd. Техногенное накопление установлено для Co, Pb, Ni, характеризующихся токсичными для растений концентрациями в пределах территорий, подверженных антропогенному влиянию. Весьма токсичный для живых организмов и растений элемент Cr также отмечен повышенным значением (почти в 5 раз по отношению к нормальным концентрациям). В целом, элементный химический состав растений котловины можно рассматривать как отражение биогеохимической ситуации экологически чистого региона с нетрансформированными естественными биогеохимическими циклами.

Рассчитанные Кб показали, что способность растений к депонированию элементов в условиях Хемчикской котловины невелика. Относительно высокая накопляемость отмечена для Cd (0,6). Общее увеличение Кб характерно для растений высокогорных ландшафтов, причем, наиболее активно в биологический круговорот вовлекаются Zn, Pb и Cd (рис. 2).

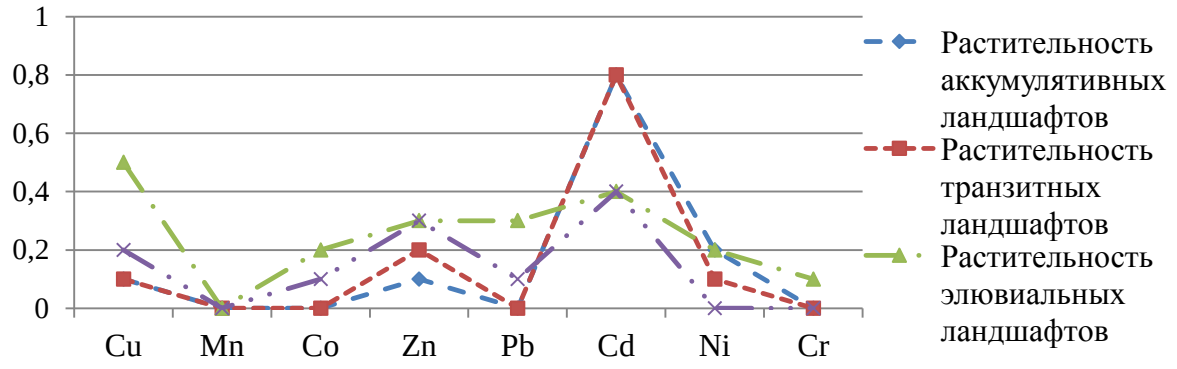

Рисунок 2 – Интенсивность биологического поглощения химических элементов растениями-ценообразователями Хемчикской котловины

В целом, Кб во много раз меньше довольно высоких глобальных значений, что указывает на низкую интенсивность их биологического поглощения растениями в аридных условиях.

Содержание химических элементов в поверхностных водах в значительной степени зависит от pH воды, окислительно-восстановительного потенциала, жесткости, развития фитопланктона и др. (Касимов, 1988; Покатилов, 1992). Поверхностные воды здесь отмечены как ультрапресные со средней минерализацией 0,12 (< 0,2) мг/л, гидрокарбонатные кальциево-натриевые с нейтральной (pH = 7,3) средой. По величине общей жесткости изученные воды относятся к «мягким». В целом они содержат незначительное количество элементов и их среднее значение колеблется в пределах 3,04–4,86 мг/л. Особого различия в элементном составе поверхностных вод котловины не обнаружено и черты химического состава озерных вод и рек очень схожи (рис. 3).

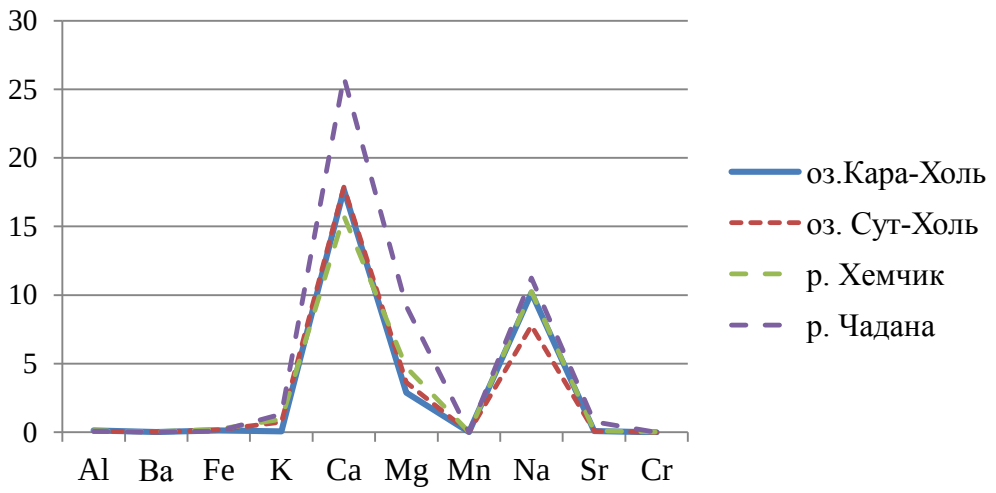

Рисунок 3 – Распределение химических элементов в природных поверхностных водах Хемчикской котловины, мг/л

По средней концентрации в природных водах химические элементы располагаются в следующий ряд: Ca > Na > Mg > K > Sr > Fe > Al > Ba > Mn > Cr. Большинство тяжелых металлов присутствуют в следовых количествах. Можно констатировать, что химический состав поверхностных вод в условиях Хемчикской котловины формируется преимущественно в ходе природных процессов и характеризуется очень низкими значениями концентраций химических элементов.

Региональная педогеохимическая специализация котловины определяется повышенным, относительно кларка, содержанием Cd, Zn и Pb в фоновых ландшафтах, концентрация As на высокогорьях обусловлена повышенным содержанием в почвах зоны влияния РКД (рис. 4, 5).

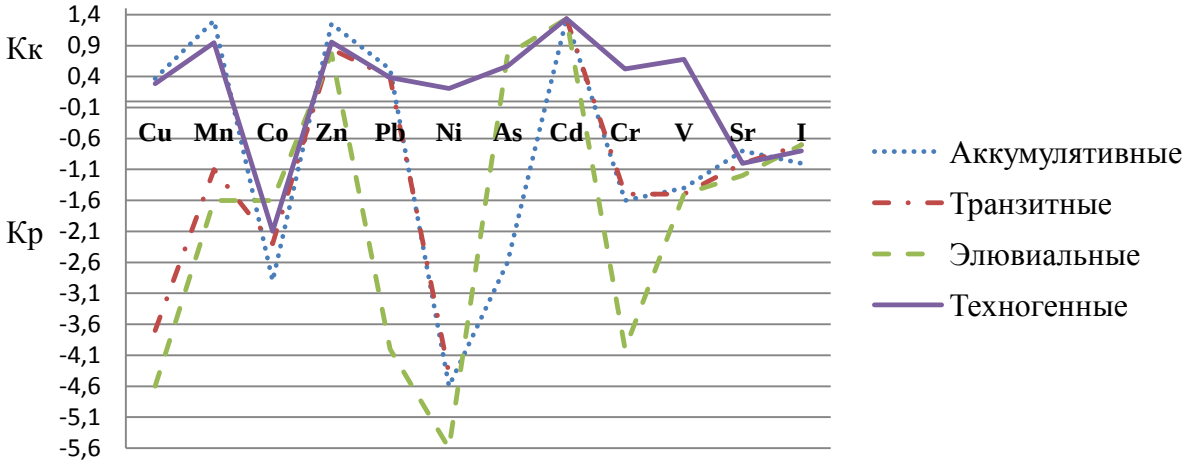

Рисунок 4 – Геохимический спектр тяжелых металлов в ландшафтах Хемчикской котловины

По мере снижения абсолютных высот наблюдается увеличение Mn и Cu, отмеченных деконцентрированием в высокогорных и среднегорных ландшафтах. Техногенные почвы обогащены почти всеми изученными элементами. Максимальным накоплением отличаются Ni, Cu и Pb. В отличие от естественных, техногенно-преобразованные территории обеднены Cd.

Таким образом, геохимическую специфику фоновых почв котловины определяет Cd, а техногенных – Ni, Pb и Cu. При этом природные ландшафты не сильно отличаются уровнями содержания тяжелых металлов в почвах,

заметное различие характерно для техногенно-трансформированных почв (рис. 4, 5).

Биогеохимическая специализация относительно кларков В.В. Добровольского (2003) характеризуется низким содержанием большинства химических элементов, особенно Mn, что, скорее всего, связано с уменьшением интенсивности биологического поглощения элементов в аридных областях, также преобладанием при расчете мировых кларков данных по растениям гумидных ландшафтов, где интенсивность поглощения элементов выше (Касимов и др., 1989). В условиях горностепных и степных ландшафтов концентрируются Cd и Ni, а содержание Cr, Cu и Co установлено на уровне кларков (рис. 5).

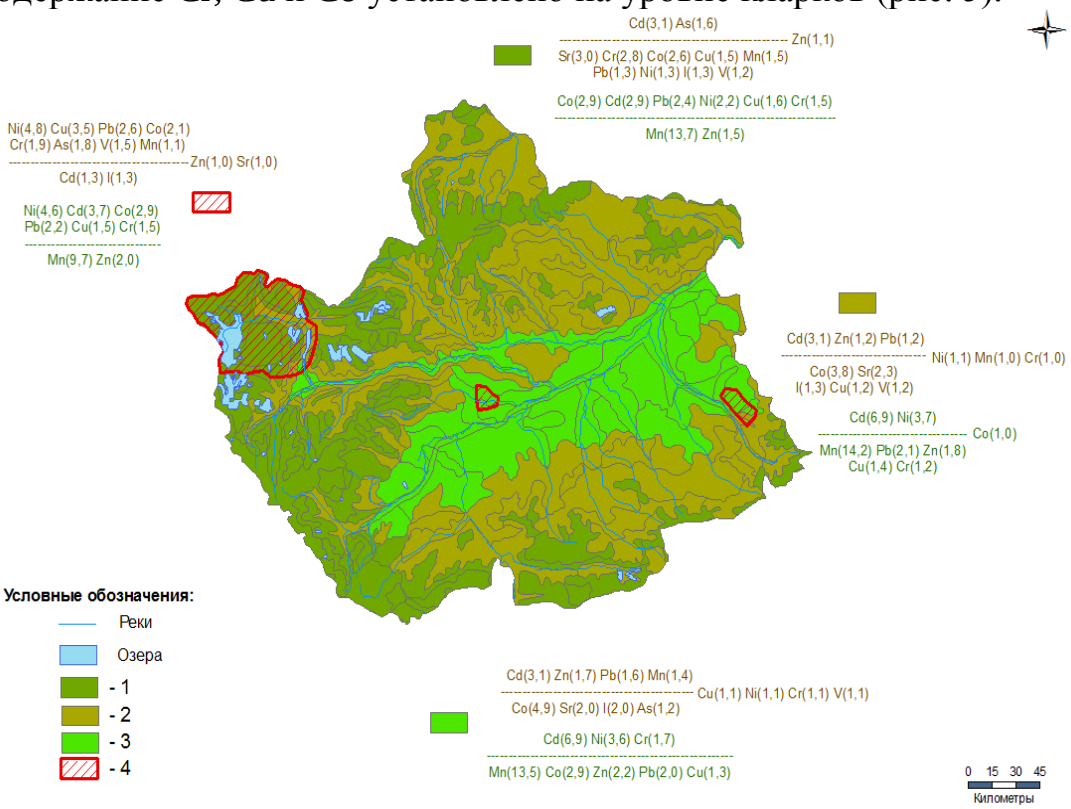

Рисунок 5 – Геохимическая специализация ландшафтов Хемчикской котловины. Формулы коричневым цветом – в почвах, зеленым цветом – в растениях. *Ландшафты:* 1 – высокогорные, 2 – среднегорные, 3 – степные межгорно-котловинные, 4 – техногенно-трансформированные

Для фитоценозов высокогорных и техногенных ландшафтов характерно заметное отличие от равнинных и среднегорных. Так, фитокомплексы этих территорий в небольших количествах накапливают большинство рассмотренных элементов. Относительная концентрационная активность растений высокогорий, вероятно, обусловлена значительным присутствием представителей мхов и лишайников, характеризующихся специфической видовой избирательностью поглощения. Накопление химических элементов в растениях антропогенно-преобразованных территорий, скорее всего, связано с влиянием техногенного воздействия.

Для характеристики общих закономерностей концентрирования группы элементов в условиях Хемчикской котловины были вычислены коэффициенты накопления *Rk* для почв и растительного покрова в выделенных геохимических ландшафтах (коэффициент Шоу) – показатель для сравнивания общей концентрации группы химических элементов в образцах по отношению к величине кларка (либо иной базовой величины) (Шоу Дени, 1969). (рис. 6)

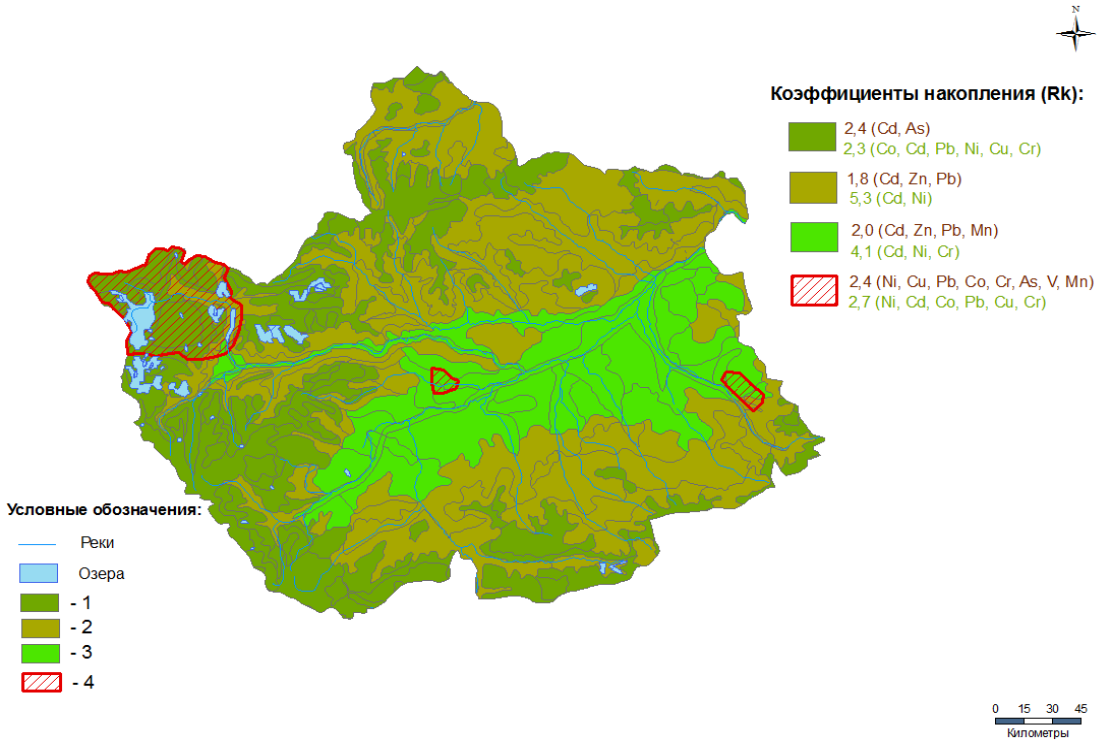

Рисунок 6 – Значения коэффициентов накопления Rk в ландшафтах Хемчикской котловины *Rk* коричневым цветом – в почвах, зеленым цветом – в растениях. В скобках – ассоциации элементов с кларком концентрации > 1. *Ландшафты*: 1 – высокогорные, 2 – среднегорные, 3 – степные межгорно-котловинные, 4 – техногенно-трансформированные

Подсчеты показали, что в почвах идет накопление халькофильных кадмия и цинка, для растительного покрова характерна аккумуляция кадмия и никеля. Среди геохимических ландшафтов котловины относительно высокое значение общей концентрации группы элементов в почвах характерно для высокогорных (*Rk* = 2,4) и техногенно-трансформированных (*Rk* = 2,4) геосистем. Наоборот, концентрационной активностью по данному показателю отличается растительный покров среднегорных (*Rk* = 5,3) и равнинных межгорно-котловинных (*Rk* = 4,1) ландшафтов, что косвенно может объясняться более благоприятными биогеографическими условиями в них, так или иначе влияющих на функционирование растительности. Следует отметить, что наибольшие значения общей концентрации группы химических элементов в отмеченных сообществах обусловлен высоким показателем Кк активно накапливающихся Cd и Ni в них. Вместе с тем, как отмечалось выше, полиэлементность как в почвах, так и в растениях, характерно для территорий в зонах влияния антропогенного воздействия.

Таким образом, ландшафты Хемчикской котловины нами обозначены как геохимически неоднородные, обусловленные многими факторами: гидроклиматическими условиями, физико-химическими свойствами почв, высотной поясностью, а также ландшафтными (преобладание склоновых позиций рельефа, разнообразие подстилающих пород, глубокое залегание грунтовых вод, промывной тип водного режима и т.д.).

В главе 4 «Эколого-геохимическая оценка и картографирование ландшафтов Хемчикской котловины» рассмотрены теоретические основы методологии, принципов картографирования и проведена эколого-геохимическая оценка ландшафтов котловины.

Для выделенных ландшафтов проведена оценка интенсивности проявления экологически значимых факторов: содержание химических элементов в почвах

и растительном покрове. Эколого-геохимическая оценка осуществлялась на основе комплексного использования геохимических, санитарно-гигиенических и биогеохимических показателей. Для количественной оценки степени загрязнения почв рассчитывался *Zc*, показывающий общее воздействие элементов на них. Санитарно-гигиеническая оценка проводилась при сравнении содержания химических элементов в почвах техногенных территорий с ПДК (ГН 2.1.7.2042-06). Оценку состояния растительных сообществ производили по коэффициенту биогеохимической трансформации (*Zv*). Как критерии интегральной эколого-геохимической оценки использовались следующие градации (по Давыдова, Волкова, 1988 с изменениями Касимов и др., 2012):

Таблица 2 – Интегральные показатели эколого-геохимической оценки ландшафтов Хемчикской котловины

Уровни интегральных показателей и экологической опасности	Загрязнение почв, *Zc*	Трансформация, *Zv*
низкий / неопасный	< 16	< 25
средний / умеренно-опасный	16–32	25–35
высокий / опасный	32–64	35–45
очень высокий / очень опасный	64–128	45–55
максимальный / чрезвычайно-опасный	> 128	> 55

Эколого-геохимическая оценка почв котловины проводилась в целом для всех ландшафтов (фоновых, техногенных). При антропогенной нагрузке отличительной чертой ассоциаций тяжелых металлов в компонентах геосистем является полиэлементность (Кошелева, Касимов и др., 2010), поэтому в техногенно-трансформированных почвах рассчитывались *Zc* по отдельным классам опасности элементов. В целом установлено, что загрязнение тяжелыми металлами по котловине распределено неравномерно (табл. 3).

Таблица 3 – Оценка суммарного загрязнения почв и биогеохимической трансформации растительности ландшафтов Хемчикской котловины

Ключевые участки	Значения эколого-геохимических показателей					
	Zc			*Zv*		
Степные межгорно-котловинные						
Местечко Эдегей	2,8			28,2		
Долина р. Хемчик (левобережье)	5,5			25,1		
Местечко Улуг-Хову	3,7			31,9		
Среднегорные						
Долина р. Устуу-Ишкин	2,3			29,1		
Окрестности с. Хонделен	3,0			25,7		
Хребет Адар-Тош (отрог Зап. Танну-Ола)	2,3			27,4		
Высокогорные						
Окрестности озера Сут-Холь	2,8			22,3		
Окрестности озера Кара-Холь	3,0			22,0		
Техногенно-трансформированные						
Окрестности комбината «Туваасбест»	23,1			31,3		
	7,3*	16,6**	2,2***	10,5*	14,5**	8,6***
Район падения ОЧРН «Протон»	27,1			18,4		
	14,1	13,3	2,4	4,1	6,8	9,6
Окрестности Чаданского угольного месторождения	1,7			16,6		
	2,5	3,4	0	5,5	2,1	11,0

* – элементы I кл опасности

** – элементы II кл опасности

*** – элементы III кл опасности

Анализ полиэлементного загрязнения почв котловины по величине *Zc* показал, что для большинства территории характерен низкий уровень загрязнения при *Zc* = 7. Средний / умеренно-опасный уровень приурочен к техногенным ландшафтам (*Zc* = 16–32) (рис. 7). При этом полиэлементное загрязнение почв природно-техногенных ландшафтов Хемчикской котловины носит неравномерный характер, отражающий специфику источников загрязнений, их неодинаковую техногенную нагрузку.

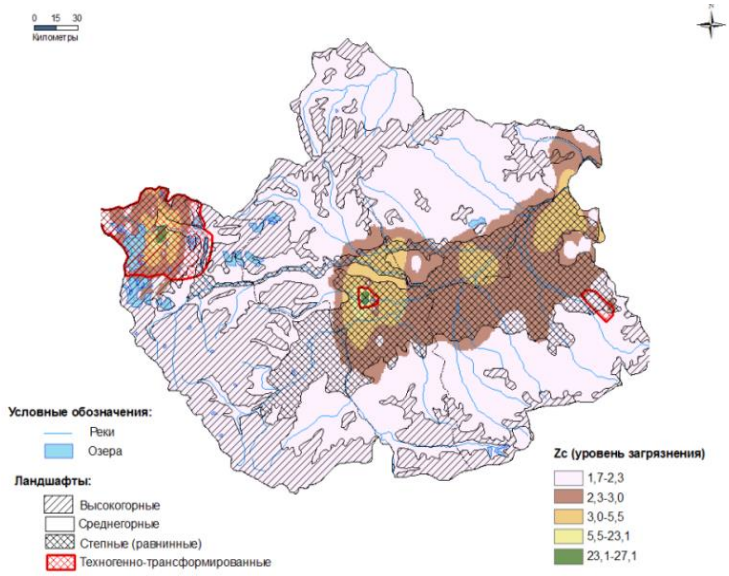

Рисунок 7 – Суммарная загрязненность почв ландшафтов Хемчикской котловины

Валовое содержание тяжелых металлов максимально в почвах зоны влияния РКД (*Zc* = 27,1), обусловленное длительностью воздействия этого фактора. Минимальные концентрации отмечены в зонах влияния комбината «Туваасбест» (*Zc* = 23,1), Чаданского угольного разреза (*Zc* = 1,7) и объясняется их неполной эксплуатацией в настоящее время. Для почв техногенных ландшафтов в целом характерно накопление (Кк > 1,5) следующих элементов Ni–Cd–Co–Cr–As–V. Наиболее интенсивно (Кк > 4) в почвах накапливается Ni, реже Cu и Zn.

Анализ по отдельным классам опасности элементов показал, что по максимальным значениям *Zc* почв *элементами I класса опасности* выделяется территория РКД при *Zc* = 14,1 (табл. 3). Ореол повышенного значения *Zc* в данной зоне связан с присутствием в повышенных количествах Pb. Минимальные показатели *Zc* по этим элементам приходится на окрестности Чаданского угольного разреза (*Zc* = 2,5). В целом, основную роль в загрязнение вносят Pb и Zn, кроме этого отмечается в относительно повышенных количествах As.

Элементы II класса опасности концентрируются в окрестностях комбината «Туваасбест» (*Zc* = 16,6), что по критериям оценки уровня загрязнения почв относятся к средним, а в соответствии с экологической опасностью – к умеренно опасным. Ведущее значение при формировании их ореолов имеют Cu и Ni, в меньшей степени – Co. Наименьшие показатели *Zc*, как и для элементов I класса опасности, отмечены для почв зоны влияния Чаданского месторождения (*Zc* = 3,4).

Рассматриваемые техногенно-трансформированные ландшафты практически не загрязнены *элементами III класса опасности* и их *Zc* отмечается на уровне 2,4 и 2,2 в РКД и зоне влияния комбината «Туваасбест» соответственно.

Известно, что техногенное загрязнение почв имеет площадный характер (Саксин, Бубнова, 2006), в связи с этим нами рассчитаны площади

загрязненности исследуемой территории. Так, более 90% территории Хемчикской котловины (естественные ландшафты) характеризуются очень слабым загрязнением (Zc < 8) (табл. 3). Умеренно-опасное загрязнение (16 < Zc < 32) наблюдается на 6% территории, принадлежащей к техногенно-трансформированным ландшафтам (зона влияния комбината «Туваасбест» и РКД).

При сравнении содержания химических элементов в почвах техногенных территорий с ПДК (ГН 2.1.7.2042-06), фиксируется превышение норм для Cu, Co, Pb, Ni и As. Экологическую опасность тяжелых металлов отражает процент территории (техногенно-преобразованной) с превышением ПДК, который уменьшается в ряду Co (100%) > Pb (67%) > Ni (67%) > Cu (33%) > As (33%).

В целом почвы котловины можно оценить как слабозагрязненные, при величине Zc не превышающей 8, что идентифицируется как удовлетворительное состояние. Слабо- и среднеконтрастные аномалии тяжелых металлов приурочены в основном к антропогенно-трансформированным ландшафтам, за исключением зоны влияния Чаданского угольного разреза, где загрязнение практически не установлено.

Экологическое состояние растительных формаций котловины оценивалось по степени нормирования содержания химических элементов в зрелых тканях растений путем сравнения с известными их концентрациями по Melsted (1973) (из Baker, Chesnin, 1975). Выявлены избыточные содержания Ni в 100% растительных сообществ, превышения содержания Pb отмечены на более 50% фитоценозов. Содержания выше нормы Co и Cr отмечены у растений, произрастающих на техногенно-трансформированных почвах. Концентрация Cd подходит к верхней границе зоны оптимума. Обнаружен недостаток такого важного элемента как Mn в растительности степных и среднегорных геохимических ландшафтов.

Как известно (Добровольский, 2003; Баргальи, 2005; Касимов и др., 2011; Kabata-Pendias, 2011), растения реагируют на ухудшение состояния окружающей среды как накоплением, так и деконцентрацией химических элементов, обусловленных изменениями интенсивности биологических процессов. Поэтому Zv отражает нарушение нормальных соотношений элементов в растениях и количественно описывает их дисбаланс, возникающий в результате усиления антропогенной нагрузки (Кошелева, Касимов и др., 2013).

Рассчитанный нами Zv для растений Хемчикской котловины в среднем равен 23,9 (табл. 3), что соответствует слабой степени биогеохимической трансформации. В целом, пространственная дифференциация по показателю Zv слабоконтрастная (рис. 8), максимальный контраст фиксируется в степи (Zv = 31,9) и в окрестностях комбината «Туваасбест» (Zv = 31,3). Таким образом, слабая степень Zv показывает толерантность растений котловины к техногенному прессу и способности к нормальному функционированию в условиях иммиссии поллютантов.

Известно, что, ассоциации в поверхностных горизонтах почв и вегетативных органах растений свидетельствуют об общих источниках и сходстве поведения поллютантов в различных ландшафтно-геохимических условиях (Касимов и др., 2011; Кошелева, Касимов и др., 2013). Проведенное нами эколого-геохимическое картографирование продемонстрировало заметное различие в пространственной дифференциации химического состава фитоценозов и почв, за исключением распределения Cd. Оценка внутрирегиональных закономерностей миграции

вещества в компонентах ландшафтов показала, что химический состав растений в меньшей степени зависит от их содержания в педосфере.

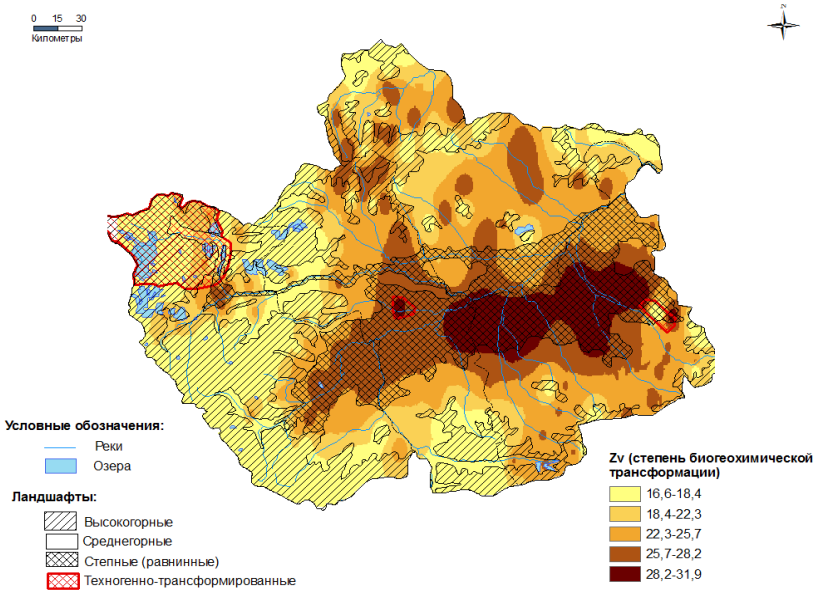

Рисунок 8 – Степень биогеохимической трансформации растительного покрова ландшафтов Хемчикской котловины

В целом можно констатировать общий низкий уровень загрязнения почв и слабую степень биогеохимической трансформации флористических комплексов, включая территории, подверженные влиянию антропогенных факторов. Таким образом, полученные данные могут послужить информационной основой для выявления современных экологических проблем и ситуаций на отдельных территориях, также для дальнейшей разработки рациональной экологической политики.

ВЫВОДЫ

1. Пространственная и морфологическая структуры геосистем характеризуются различием и сложностью ландшафтных рисунков в пространстве, определяющихся гидроклиматическими условиями и высотной зональностью. Отмечено, что наибольшая доля в ландшафтной структуре котловины принадлежит среднегорным геосистемам (45,41 %) и представляют собой эрозионно-денудационные природно-территориальные комплексы. На порядок меньшую долю занимают экзарационные и эрозионно-денудационные высокогорные (32,11 %), и менее всего представлены степные межгорно-котловинные (22,48 %), в том числе техногенные ландшафты занимают 5 % территории. Также показано, что исследованные ландшафты характеризуются преобладанием лиственничных лесов в среднегорном поясе с высоким разнообразием и сложностью пространственного строения, обусловленных особенностью рельефа и экспозиционными различиями. В целом, в разнообразии ландшафтов котловины участвуют южносибирские (таежные, лесостепные, степные) и центрально-азиатские группы геомов.

2. Почвы фоновых ландшафтов района исследования характеризуются геохимической неоднородностью. Отмечена относительно высокая вариабельность содержаний химических элементов в исследуемых почвах, что может быть обусловлено сложнейшей структурой почвенного покрова, многообразием почвообразующих пород и их исходной литохимической основы, разнообразием ландшафтов с контрастными биогеографическими факторами, определяющими процессы миграции и геохимического круговорота элементов.

3. Закономерности пространственного распределения химических элементов в почвах котловины характеризуются околокларковым содержанием многих элементов. При этом, для почв некоторых природно-территориальных комплексов (как фоновых, так и техногенных) выявлены превышения содержаний (региональных фоновых и среднемировых значений) таких тяжелых металлов, как Zn, Pb, Ni и Cd. Важно отметить, что содержание некоторых микро- и макроэлементов (Mn, Ca и других), играющих важную роль в обмене веществ, находится в пределах ниже кларка, что может обуславливаться низкой продуктивностью аридных ландшафтов, преобладанием криогенных процессов в условиях Хемчикской котловины, а также выщелачиванием этих биогенных элементов (Авессаломова, Самойлова, 2012).

4. Растительные сообщества отличаются неодинаковым общим содержанием изученных микроэлементов и их концентрации не всегда коррелирует с содержанием аналогичных элементов в соответствующих почвах, что в некоторой степени объясняется физиологией растений. Наблюдается определенная зависимость химического состава растительных сообществ от ландшафтной организации. Так, биогеохимическая специализация фитоценозов высокогорий и техногенных ландшафтов отличаются от растительности среднегорий и равнин. Растительный покров высокогорий, представленный в основном древесными формами, а также значительным присутствием представителей мхов и лишайников, характеризуется некоторым превышением химических элементов, связанных с эколого-биоморфологическими особенностями видов растений высокогорного пояса.

5. Геохимическую специфику почв естественных ландшафтов определяет Cd, а техногенно-трансформированных – Ni, Pb и Cu. Особенностью геохимической специализации растительного покрова котловины является недостаток жизненно важных элементов (Mn и Zn) и относительное накопление токсичных (Ni, Cd, Co и Pb). По показателю общей концентрации группы элементов *Rk,* среди геохимических ландшафтов в пределах территории исследования относительно высокое накопление в почвах отмечено в высокогорных и техногенно-трансформированных геосистемах. Повышенные значения концентрирования групп элементов в растительном покрове характерно, наоборот, для среднегорных и равнинных межгорно-котловинных ландшафтов, что косвенно может объясняться более благоприятными биогеографическими условиями среды.

6. Содержание химических элементов в поверхностных водах бассейна реки Хемчик характеризуется очень низкими значениями их концентраций. Большинство микро- и макроэлементов присутствуют в количествах ниже предела чувствительности и роль речной системы бассейна в миграции химических элементов в условиях Хемчикской котловины незначительна. Таким образом, химический состав природных вод формируется преимущественно под действием природно-климатических факторов.

7. Оценка эколого-геохимического состояния показала, что для природных ландшафтов Хемчикской котловины загрязненность поллютантами не характерна, ландшафты в зоне влияния техногенных факторов отмечены как умеренно загрязненные и действие тяжелых металлов имеет локальный характер. В поверхностных горизонтах почв не отмечены превышения предельно допустимых значений. В почвах с легким механическим составом

может наблюдаться некоторое превышение концентраций тяжелых металлов. Сильнее накопление тяжелых металлов проявляется в зонах влияния техногенных источников. В техногенно-трансформированных природно-территориальных комплексах равнинных ландшафтов формируются своеобразные флористические ассоциации, представленные экологическими группами галофитов и видами растений так называемой рудеральной флоры. Отличительной особенностью представителей этой группы является жесткий скелет, в основном однолетники с мочковатой корневой системой, которые в конце сезона вегетации представлены жизненными формами «перекати-поле». Такая организация флористических комплексов дает основание предполагать о наличии экосистемных механизмов, регулирующих вещественно-энергетические параметры биологических систем разного ранга, а также определяющих закономерности аккумуляции и миграции химических элементов.

8. Картографические модели суммарной загрязненности почв и степени биогеохимической трансформации растительных сообществ позволили визуализировать и отразить эколого-геохимическое состояние ландшафтов. Пространственная дифференциация эколого-геохимического состояния территории характеризуется относительной неоднородностью распределения суммарной загрязненности почвенного и степени биогеохимической трансформации растительного покровов.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Очур-оол А. О.** Содержание свинца, кадмия и никеля в почвах Хемчикской котловины / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар, У. В. Ондар // Естественные и технические науки. – 2009. – № 4. – С. 282–286. – 0,6 / 0,16 п.л.
2. **Очур-оол А. О.** Оценка фонового содержания тяжелых металлов в почвах Хемчикской котловины (Западная Тува) / А. О. Очур-оол, У. В. Ондар, С. О. Ондар, В. Н. Лосев // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6 (25). – Ч. 1. – С. 269–272. – 0,5 / 0,13 п.л.
3. **Очур-оол А. О.** Изучение содержания тяжелых металлов в почвах и растениях в районе комбината «Туваасбест» / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар, У. В. Ондар, У. В. Шыырапай, В. Н. Лосев, Б. Г. Хомушку, И. В. Чамбал // Мир науки, культуры, образования. – 2013.– № 2 (39).– С. 298–300.– 0,6 / 0,15 п.л.
4. Ондар С. О. Западно-Саянская ландшафтно-геохимическая и Алашская биогеохимическая провинции / С. О. Ондар, У. В. Ондар, **А. О. Очур-оол** // Мир науки, культуры, образования. – 2014. – № 6 (49). – С. 544–549. – 0,5 / 0,17 п.л.
5. Ондар С. О. Поведение химических элементов в природных средах и растительном покрове Хемчикской котловины (Тува) / С. О. Ондар, **А. О. Очур-оол**, А. Ф. Чульдум, Д. С. Ондар // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 3. – С. 115–120. – 0,5 / 0,08 п.л.
6. Ондар С. О. Особенности накопления химических элементов в надземных органах растений флористических комплексов в Западной Туве / С. О. Ондар, У. В. Ондар, **А. О. Очур-оол** // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12, ч. 5. – С. 972–977. – 0,6 / 0,18 п.л.

7. **Ochur-ool A. O.** Ecological and Geochemical Characteristics of the Landscapes of Western Tuva / A. O. Ochur-ool, S. O. Ondar, U. V. Ondar // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – № 6 (5). – P. 1670–1677. – 0,52 / 0,17 п.л. (*Scopus*).

8. **Очур-оол А. О.** Ландшафтная структура Хемчикской котловины (Западная Тыва) / А. О. Очур-оол, С. Н. Кирпотин, С. О. Ондар // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 171–175. – 0,39 / 0,15 п.л.

Публикации в прочих научных изданиях:

9. **Очур-оол А. О.** Пространственная структура тяжелых металлов и микроэлементов в почвах Хемчикской котловины Республики Тыва / А. О. Очур-оол // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов : материалы VIII международной конференции. Горно-Алтайск, 19–23 сентября 2007 г. – Горно-Алтайск, 2007. – С. 45–49. – 0,56 п.л.

10. **Очур-оол А. О.** Особенности климата и рельефа Хемчикской котловины республики Тыва / А. О. Очур-оол // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий : материалы XI международной научной школы-конференции студентов и молодых ученых. Абакан, 14–16 ноября 2007 г. – Абакан, 2007. – Вып. 11, т. I. – С. 194–195. – 0,15 п.л.

11. **Очур-оол А. О.** Оценка загрязненности почв Хемчикской котловины (Западная Тува) тяжелыми металлами / А. О. Очур-оол, З. Н. Квасникова // Актуальные вопросы географии и геологии : материалы Всероссийской молодежной научной конференции. Томск, 10–13 октября 2010 г. – Томск, 2010. – С. 109–111. – 0,15 / 0,08 п.л.

12. **Очур-оол А. О.** Принципы геоэкологического картографирования и районирования (на примере Хемчикской котловины (Западная Тува) / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар, У. В. Ондар // Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая : материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 20-летнему юбилею Тувинского государственного университета, году народных традиций в республике Тыва. Кызыл, 26–30 июня 2015 г. – Кызыл, 2015. – С. 218–220. – 0,24 / 0,09 п.л.

13. **Очур-оол А. О.** Биогеохимический облик почв Хемчикской котловины / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар, У. В. Ондар // Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая : материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 20-летнему юбилею Тувинского государственного университета, году народных традиций в республике Тыва. Кызыл, 26–30 июня 2015 г. – Кызыл, 2015. – С. 220–222. – 0,44 / 0,18 п.л.

14. **Очур-оол А. О.** Оценка загрязненности тяжелыми металлами почв Хемчикской котловины (Западная Тува) / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона : материалы IV международной научно-практической конференции. Кызыл, 01–04 октября 2015 г. – Кызыл, 2015. – С. 167–168. – 0,19 / 0,09 п.л.

15. **Очур-оол А. О.** Эколого-биогеохимическая оценка растительного покрова ландшафтов Хемчикской котловины (Западная Тыва) / А. О. Очур-оол, С. О. Ондар, У. В. Ондар // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А. И. Перельмана) : доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 18–20 октября 2016 г. – Москва, 2016. – С. 402–404. – 0,17 / 0,06 п.л.

Подписано в печать 15.02.2017 г.
Формат А4/2. Ризография
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 09-02/17
Отпечатано в ООО «Позитив-НБ»
634050 г. Томск, пр. Ленина 34а